

REGÍMENES TÉRMICOS DE LOS EMBALSES DE LA SERRA DE TRAMUNTANA (MALLORCA). ESTUDIO COMPARADO

G. RAMÓN¹ y G. MOYÁ²

RESUM. Durant dos cicles anuals complets es varen obtenir temperatures de l'aigua dels dos embassaments existents a la Serra de Tramuntana de Mallorca. Aquestes dades permeten analitzar les característiques tèrmiques d'aquells.

Ambdós embassaments poden ésser catalogats dins el tipus monomíctic càlid. A l'embassament del Gorg Blau té lloc la formació d'una termoclina, estabilitzada entorn als onze metres de fondària: mentre que a l'embassament de Cúber la termoclina només és esporàdica i transitòria.

El règim tèrmic dels dos embassaments ve determinat per les particulars condicions climatològiques de la zona a on es localitzen i les diferències entre els règims tèrmics són atribuïbles essencialment a la desigual morfometria.

RESUMEN. Se analizan las características térmicas de los dos embalses localizados en la Serra de Tramuntana (Mallorca) a partir de valores de la temperatura de sus aguas, obtenidos a lo largo de dos ciclos anuales.

Ambos embalses pueden ser tipificados como monomícticos cálidos. La termoclina se localiza en torno a los once metros de profundidad en el embalse de Gorg Blau y sólo es esporádica y transitoria en el embalse de Cúber.

El régimen térmico de los dos embalses viene determinado por las condiciones climatológicas de la zona en que se hallan ubicados. Las diferencias observadas entre ambos regímenes son esencialmente atribuibles a la distinta morfometría de las dos cubetas.

SUMMARY. The thermic characteristics of the two reservoirs located in the "Serra de Tramuntana" (Majorca) are analyzed from the temperature values during two annual cycles.

The reservoirs can be typified as warm monomictic. The thermocline develops and stabilizes around eleven meters deep in the Gorg Blau reservoir, but it is not clear in the Cúber reservoir.

The thermal regime of reservoirs is conditioned by meteorological factors in that area. The differences between both thermal regimes are due to their unequal morphometry.

¹Departamento de Microbiología

²Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad de Palma de Mallorca.

INTRODUCCION

Las características térmicas de una masa de agua se hallan estrechamente relacionadas con las condiciones climatológicas de la zona en que se encuentra ubicada. Sin embargo, el comportamiento térmico puede presentar una serie de particularidades distintivas, propias del ambiente acuático en cuestión, condicionadas por factores ajenos a los meteorológicos.

El conocimiento del comportamiento térmico de una masa de agua posee un gran interés limnológico por toda una serie de razones entre las que cabe destacar las siguientes:

La temperatura influye sobre los organismos acuáticos, al igual que sobre cualquier ser vivo, ya que los sistemas biológicos no escapan a las leyes de la termodinámica (LEHNINGER, 1973). Las variaciones de la temperatura pueden inducir en un determinado organismo cambios morfológicos y fisiológicos que, en último término, condicionan su actuación dentro del ecosistema (MARGALEF, 1953 y 1974), siendo esta influencia considerablemente más importante sobre los organismos que no regulan su temperatura.

Las variaciones de la temperatura en los hábitats lénticos permiten establecer una clasificación de los mismos que, si se realiza de acuerdo con unos criterios generales aceptados por la mayoría de autores en función de su utilidad y claridad (BEAVER *et al.*, 1981), informa de toda una serie de aspectos relativos a la dinámica del ecosistema (LEWIS, 1973).

En la mayoría de los ambientes acuáticos es característica la existencia de una estratificación vertical de la temperatura en profundidad y de una capa más o menos extensa en la que se registra un fuerte gradiente vertical térmico. Esta capa o termoclina actúa como una barrera casi tan efectiva como los márgenes de la cubeta (JOHNSON, 1966; WETZEL, 1975) ya que es una zona de fuerte gradiente de densidad y confiere estabilidad a la masa de agua (FROELICH *et al.*, 1978; MARGALEF, 1983).

En este trabajo se analiza el comportamiento térmico de los dos embalses de la Serra de Tramuntana y se intenta una tipificación de los mismos dentro del sistema de clasificación ampliamente utilizado para los lagos (HUTCHINSON y LÖFFLER, 1956); si bien atendiendo a las características diferenciables de los embalses respecto de aquéllos. En este sentido cabe destacar la manipulación ejercida por el hombre, cuyas consecuencias más notorias son: variaciones del volumen, renovación rápida del agua, efecto del nivel de localización de la toma de agua (MARGALEF *et al.*, 1976).

AREA DE ESTUDIO

Los embalses estudiados se hallan ubicados en la porción central de la Serra de Tramuntana de Mallorca (Fig. 1), en el término municipal de Escorca y junto a la carretera C-710, que recorre dicha Serra desde Pollença en el NE hasta Andratx en el SW, y concretamente entre los kilómetros 30 y 35. Las coordenadas geográficas, referidas a las presas, son $39^{\circ} 49' \text{ N}$, $2^{\circ} 50' \text{ E}$ para el embalse de Gorg Blau y $39^{\circ} 47' \text{ N}$, $2^{\circ} 5' \text{ E}$ para el embalse de Cúber.

Ambos embalses se localizan en un mismo valle longitudinal, limitado por formaciones montañosas de alturas comprendidas entre los 700 y los 1100 me-

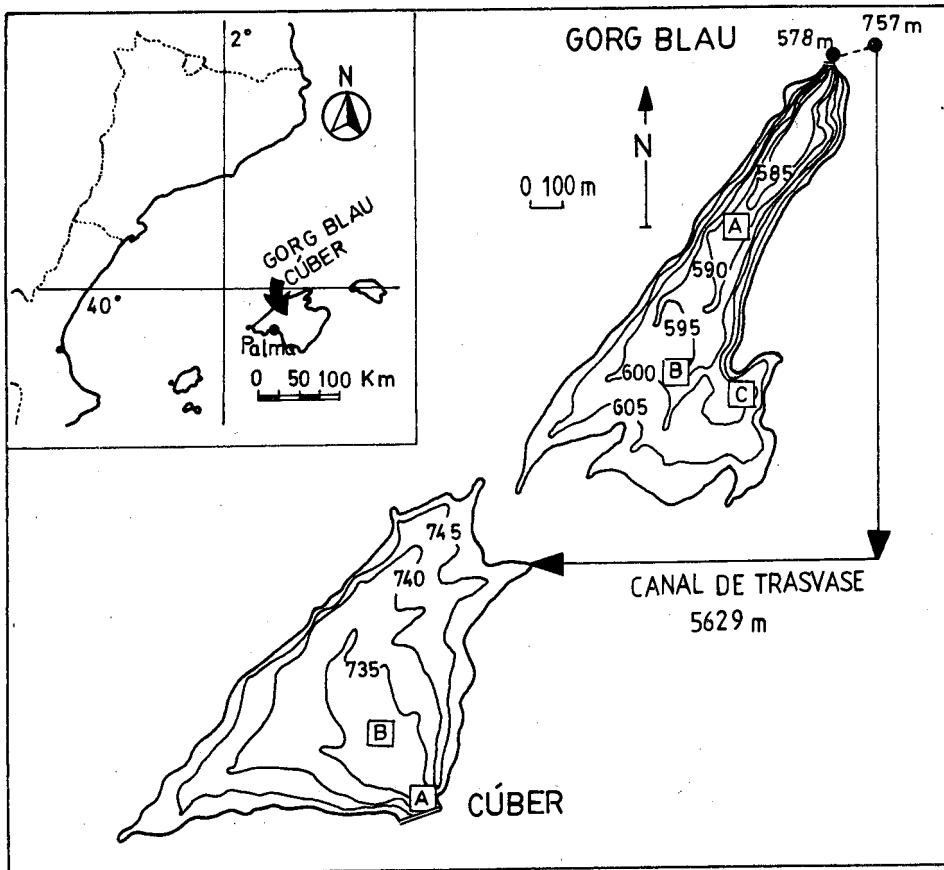


Fig. 1.- Localización y características del área de estudio. Se señalan las estaciones de muestreo.

tros, y asentados sobre materiales Triásicos y Jurásicos recubiertos por aluviones cuaternarios.

Cúber y Gorg Blau constituyen un sistema de dos embalses en cadena o cascada, contruidos con el fin de suministrar agua para el abastecimiento de la ciudad de Palma de Mallorca. El embalse de Gorg Blau, principal reserva del sistema, recoge las aguas procedentes de su cuenca $-6,5 \text{ km}^2-$ y de otras menores próximas -2 km^2- . Dichas aguas son elevadas, mediante bombeo, hasta un canal de trasvase que las conduce, por descenso gravitacional, al embalse de Cúber (Fig. 1). Desde este último embalse, en el que también vierten las aguas de escorrentía de su propia cuenca $-7,4 \text{ km}^2-$, las aguas son conducidas, previo tratamiento en la planta potabilizadora de Lloseta, a la ciudad de Palma.

Estos dos embalses retienen sendas masas de agua cuantitativamente reducidas, como consecuencia de sus particulares características morfológicas y morfométricas (Fig. 1; RAMÓN y MOYA, 1982), caracterizadas por un considerable grado de mineralización en concordancia con la naturaleza de los materiales de sus cuencas (MOYA y RAMÓN, 1981).

La zona en que se sitúan los embalses presenta unas condiciones climatológicas (CENTRO METEOROLÓGICO DE BALEARES, 1976-1978) que pueden ser consideradas como una excepción dentro del clima mediterráneo típico de la isla de Mallorca (COLOM, 1964); destacando, por su influencia sobre la dinámica general de las aguas embalsadas, las oscilaciones térmicas, los fuertes vientos racheados y canalizados a través del valle y las precipitaciones muy copiosas y localizadas en épocas concretas del año.

MATERIAL Y METODOS

Las determinaciones de la temperatura se han realizado con una periodicidad mensual y en diferentes puntos de los embalses. En el embalse de Cúber se seleccionaron dos estaciones de muestreo y en el de Gorg Blau tres (Fig. 1).

La medición de la temperatura se llevó a cabo entre las 10 y las 12 horas, haciendo uso de un termómetro eléctrico (termistor), preparado y puesto a punto por A. JULIA del Instituto de Ivestigaciones Pesqueras de Barcelona, válido para temperaturas comprendidas entre $-5,26^{\circ}\text{C}$ y $+31,09^{\circ}\text{C}$, con una precisión superior a $0,1^{\circ}\text{C}$. En cada una de las visitas y para cada una de las estaciones se obtuvo un perfil vertical de la temperatura, midiendo el valor de

la misma a cada metro de profundidad y por duplicado, inicialmente al hacer descender el termistor y posteriormente al recuperarlo.

Así mismo se midió la temperatura de las muestras de agua obtenidas a diferentes profundidades, mediante un tomamuestras Hydro-Bios de 5 litros de capacidad, en el mismo momento en que llegaban a la superficie y haciendo uso de un termómetro electrónico digital portátil (SIDEVAN, TED-1), válido para temperaturas comprendidas entre -100°C y $+200^{\circ}\text{C}$ y dotado de una precisión de $0,1^{\circ}\text{C}$. Estos valores han sido los únicos disponibles cuando se produjeron averías en el termistor; esto es durante una parte del año 1977.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados que se presentan corresponden al período de tiempo comprendido entre agosto de 1976 y octubre de 1978, comentándose esencialmente los obtenidos en las estaciones situadas en la parte central de ambos embalses —la estación A en el Gorg Blau y la estación B en Cúber— (Fig. 1). Durante este tiempo la cantidad de agua embalsada mantuvo unos niveles —la evolución de los mismos ha quedado registrada en la figura 2— aceptables para poder obtener una información correcta acerca del comportamiento térmico general de los dos embalses.

Posteriormente, y desgraciadamente hasta el momento presente, el nivel del agua descendió y se ha venido manteniendo a unas cotas en las que la morfometría de las cubetas, las características meteorológicas y la profundidad de extracción del agua (GORHAM, 1964; STEWART y HASLER, 1972; MARTIN y ARNESON, 1978) tienen una influencia muy superior a la que podría ser considerada como normal.

TIPIFICACION TERMICA DE LOS EMBALSES. En la figura 2 se ha representado, sobre coordenadas profundidad-tiempo, la evolución de la temperatura del agua durante el período referido. A partir de dicha figura se pueden deducir unas características térmicas generales para los dos embalses, si bien cabe reseñar que las condiciones meteorológicas dan a cada año alguna peculiaridad distintiva, tal como ocurre en los lagos y otros embalses (AMBROSETTI *et al.*, 1979; VIDAL, 1972). Las temperaturas medidas en los dos embalses son esencialmente comparables debido a la dependencia existente entre la temperatura del agua y la temperatura atmosférica (MARGALEF, *et al.*, 1976; BARBANTI *et al.*,

1981) y sólo se presentan mínimas diferencias. Tales diferencias son perfectamente atribuibles a la distinta morfometría (RAMÓN y MOYÁ, 1982 y Fig. 1) que maximiza en el embalse de Cúber la acción de determinados fenómenos meteorológicos (RAI y HILL, 1981), tal como ocurrió en el mes de enero de 1978 (CENTRO METEOROLÓGICO DE BALEARES, Boletín nº 422) en que la temperatura del agua se aproximó a los 4°C.

El ciclo térmico anual en ambos embalses presenta dos períodos claramente diferenciados: una época de mezcla o de homotermica en la que la temperatura es prácticamente uniforme en toda la columna de agua, siendo las diferencias térmicas entre el agua superficial y la más profunda de aproximadamente 0,5°C, en promedio, y que comprende desde la segunda mitad del otoño hasta el inicio de la primavera. Los restantes meses del año suponen una época de estratificación, en la que se registran diferencias importantes entre la temperatura de la capa superficial y la de fondo; estas diferencias, en promedio, han supuesto unos 7°C en el embalse de Gorg Blau y unos 5° en el embalse de Cúber.

Estas características coinciden con las que cabría esperar a priori, dadas la situación geográfica y la morfometría de los embalses de la Serra de Tramuntana (MARGALEF, 1974), y posibilitan una tipificación de ambos embalses, siguiendo el sistema de clasificación de HUTCHINSON y LÖFFLER (1956), como de tipo monomítico cálido. En este sentido, los embalses de Cúber y Gorg Blau son totalmente comparables al resto de los embalses españoles (MARGALEF *et al.*, 1976).

FORMACION Y EVOLUCION DE LA TERMOCLINA. La estratificación térmica de una masa de agua en general conlleva la formación de una termoclina, estructura de gran interés para explicar la dinámica general de un lago o embalse (HUTCHINSON, 1957; WETZEL, 1975; MARGALEF, 1983). En estas condiciones se pueden distinguir tres zonas claramente diferenciadas en el seno de la masa de agua:

a) El epilimnion o estrato superior, de aguas más o menos uniformemente cálidas, originado por mezcla turbulenta.

b) El metalimnion o estrato intermedio, sinónimo de la termoclina, en el que se manifiesta un fuerte gradiente térmico.

c) El hipolimnion o estrato inferior, de aguas en general tranquilas y frías.

La estratificación térmica, y consecuentemente la formación de la termoclina, tiene lugar en las masas de aguas situadas en la zona templada del hemisferio norte durante la primavera y el verano. En esta época el progresivo incremento de la radiación y la temperatura atmosférica condicionan un calen-

tamiento gradual de las capas superiores, con lo que se reduce su densidad y flotan sobre las capas de agua profunda, que tienen una menor temperatura.

El calor se propaga más rápidamente que por simple conducción a través de las capas superficiales, debido a la acción del viento que uniformiza las propiedades de la capa superior; mientras se crea un gradiente cada vez mayor en el límite inferior de la misma.

En los embalses de la Serra de Tramuntana, estas capas superiores se hallan inicialmente representadas por la columna de agua que ocupa los cinco primeros metros de profundidad (Fig. 3). Esta masa de agua es muy similar en valor absoluto en los dos embalses, supuestos completamente llenos; sin embargo, su significado relativo es muy distinto dado que, para el mismo supuesto anterior, sólo representa el 38% del volumen total de agua embalsada en Gorg Blau, mientras que supera el 54% del volumen total de agua en el embalse de Cúber. Tal diferencia es todavía más acusada como consecuencia de la variación del nivel del agua embalsada en ambos durante el período de tiempo reseñado (Fig. 2). Este hecho podría explicar en parte las diferencias detectadas durante el mes de abril, en que se registra homotermia en el embal-

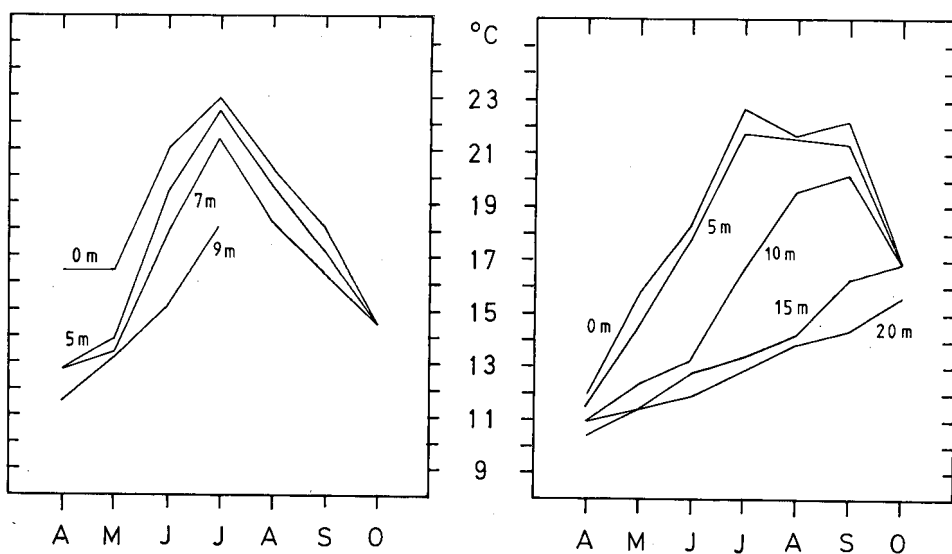


Fig. 3.- Evolución de la temperatura a distintas profundidades durante la primavera y el verano de 1977 en los embalses de Cúber (izquierda) y Gorg Blau (derecha).

se de Gorg Blau y marcada estratificación en Cúber (Figs. 2, 3 y 4). Así pues, estas diferencias en el régimen térmico de ambos embalses vendrían condicionadas por la distinta morfometría (GORHAM, 1964; STEWART y HASLER, 1972; BEAVER *et al.*, 1981) y, al ser el área de los mismos prácticamente idéntica, sería esencialmente atribuible a la diferencia en la profundidad media (RAMÓN y MOYA, 1982).

A partir del mes de junio (Fig. 4) podemos encontrarnos con una situación completamente distinta a la señalada. La temperatura se ha uniformizado en los cinco primeros metros para luego presentar un fuerte gradiente; sin embargo la evolución térmica durante el verano muestra claramente que el límite de la acción de mezcla ejercida por el viento tiende a situarse por debajo de los diez metros de profundidad (Figs. 3 y 4) y es entonces cuando podemos encontrarnos con una termoclina más o menos estable y duradera.

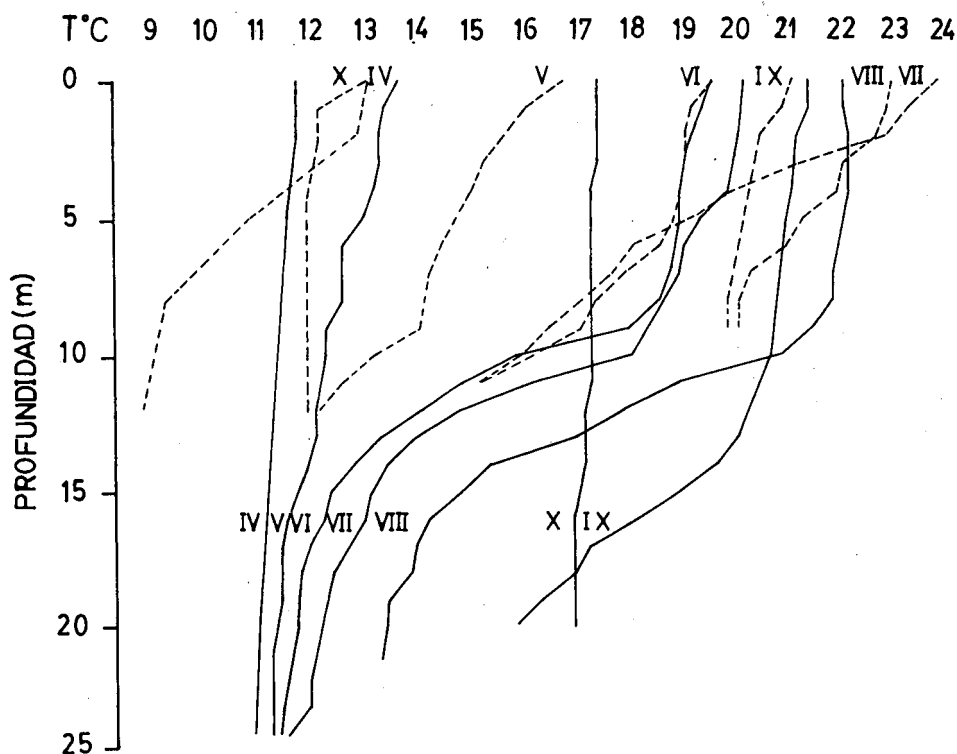


Figura 4.- Perfiles verticales de la temperatura del agua a lo largo del período comprendido entre abril y octubre de 1978 en los embalses de Cúber (líneas discontinuas) y Gorg Blau (líneas continuas).

El efecto del viento, ya apuntado, determina una tendencia muy marcada a minimizar las diferencias entre la temperatura de la masa de agua situada a diez metros de profundidad y la de las capas superiores (Fig. 3), por lo que la termoclina, en sentido estricto, sólo se forma en una determinada zona del embalse de Gorg Blau, situándose claramente entre los diez y los doce metros de profundidad (Fig. 4), ya que en el resto de ese embalse, así como en el de Cúber en toda su extensión, la altura de la columna de agua retenida es frecuentemente inferior a dicho valor (Figs. 1 y 2).

La explotación humana de los embalses representa un factor, adicional al viento, con un marcado efecto limitador en el establecimiento y mantenimiento de un fuerte gradiente térmico en el embalse de Cúber. En efecto, de dicho embalse se extrae agua de las capas profundas, por tanto fría y de mayor densidad; mientras que, de forma casi continua, llega agua procedente del embalse de Gorg Blau, extraída así mismo de sus capas profundas y por ende fría y densa también, que tiende a descender hacia el fondo del embalse de Cúber.

Durante el verano se pueden detectar en el embalse de Cúber situaciones que reflejan la existencia de una termoclina en la capa superficial, tal como la observada en el perfil térmico correspondiente al mes de julio de 1978 (Fig. 4). y que sin duda se corresponde con las termoclinas efímeras y diarias descritas en largós y embalses (MARGALEF, 1983).

No obstante, debemos señalar que, a pesar de la no existencia de una zona de fuerte gradiente térmico permanente, en el embalse de Cúber las diferencias térmicas registradas durante el verano repercuten en la distribución vertical de determinados compuestos químicos disueltos en el agua (MOYÁ y RAMÓN, 1983).

Las diferencias en el régimen térmico, resultantes fundamentalmente de la desigual morfometría, reflejan una distinta influencia de los fenómenos de tipo tormentoso (Figs. 3 y 4), característicos de esta época del año y que se produjeron a finales de julio y principios de agosto de 1977 (CENTRO METEOROLÓGICO DE BALEARES, Boletín nº 416 y 417) y en el mes de agosto de 1978 (CENTRO METEOROLÓGICO DE BALEARES, Boletín nº 429).

En el mes de setiembre la estratificación térmica ha desaparecido casi por completo en el embalse de Cúber, mientras que en el de Gorg Blau todavía se puede constatar una diferencia importante entre la temperatura de las capas superiores y la de las capas profundas (Figs. 3 y 4). Sin embargo, la termoclina se ha visto fuertemente desplazada hacia el fondo, llegando a ser prácticamente inexistente o hallándose muy debilitada (Fig. 4). Finalmente, durante el mes de octubre la homotermia vuelve a ser total, observándose una significativa diferencia entre los dos embalses. En efecto, mientras en el embalse de Gorg

Blau la homotermia se alcanza siempre a un valor de temperatura próximo a los 17°C, en el embalse de Cúber se observan oscilaciones más o menos importantes (Figs. 2, 3 y 4). Ello es consecuencia, sin duda, del diferente volumen de agua embalsada y de las oscilaciones más amplias en el mismo observadas en el embalse de Cúber (Fig. 2).

Las causas determinantes de la destrucción de la termoclina y el paso a la situación de uniformización térmica residen en el enfriamiento de las capas superiores del agua que tiene lugar en otoño y, principalmente, durante la noche; aumentando la densidad de las mismas y hundiéndose a zonas más profundas, con lo que el efecto del viento se extiende rápidamente en profundidad y puede llegar al fondo (HUTCHINSON, 1957; WETZEL, 1975; MARGALEF, 1983). Otro factor importante radica en el efecto ejercido por las lluvias de tipo tormentoso (RAI y HILL, 1981), frecuentes y copiosas en la zona durante el mes de octubre (CENTRO METEOROLÓGICO DE BALEARES, Boletín nº 407, 419 y 431) y el subsiguiente incremento de los aportes torrenciales (VIDAL, 1972).

BIBLIOGRAFIA

- AMBROSETTI, W; BARBANTI, L. y ROLLA, A. 1979.— Mescolamento parziale o totale nel Lago Maggiore nell'ultimo trentennio. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 37: 197-208.
- BARBANTI, L.; AMBROSETTI, W. y ROLLA, A. 1981.— Dipendenza della temperatura dell'acqua superficiale da temperatura atmosferica e radiazione solare nei laghi italiani. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 39: 65-98.
- BEAVER, J.R.; CRISMAN, T.L. y BAYS, J.S. 1981.— Thermal regimes of Florida lakes. *Hydrobiologia*, 83: 267-273.
- CENTRO METEOROLÓGICO DE BALEARES. 1976-1978.— *Boletín Mensual Climatológico*. N°s 405 (agosto 1976) al 431 (octubre 1978). Servicio Meteorológico Nacional. Palma de Mallorca.
- COLOM, G. 1964.— *El medio y la vida en las Baleares*. Gráficas Miramar. Palma de Mallorca. 292 pgs.
- FROELICH, C.G.; ARCIFA-ZAGO, M.S. y JULIANO DE CARVALHO, M.A., 1978.— Temperature and oxygen stratification in Americana reservoir, State of São Paulo, Brazil. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 20: 1710-1719.
- GORHAM, E. 1964.— Morphometric control of annual heat budgets in temperate lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 9: 525-529.
- HUTCHINSON, G.E. 1957.— *A Treatise on Limnology. I. Geography, Physics and Chemistry*. John Wiley & Sons. New York. 1015 pgs.
- HUTCHINSON, G.E. y LÖFFLER, H. 1956.— The thermal classification of lakes. *Proc. Nat. Acad. Sci. Wash.*, 42: 84-86.
- JOHNSON, L. 1966.— Temperature of maximum density of fresh water and its effect on circulation in Great Bear Lake. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 23: 963-973.

- LEHNINGER, A.L. 1973.- *Bioenergetics*. 2d. ed. W.A. Benjamin, Inc. Menlo Park. California 245 pgs.
- LEWIS, W.M. Jr. 1973.- The thermal regime of Lake Lanao (Philippines) and its theoretical implications for tropical lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 18: 200-217.
- MARGALEF, R. 1953.- Estudios experimentales sobre las modificaciones inducidas por diferentes temperaturas en células de clorofíceas. *P. Inst. Biol. Apl.*, 12: 5-78.
- MARGALEF, R. 1974.- *Ecología*. Omega. Barcelona. 915 pgs.
- MARGALEF, R. 1983.- *Limnología*. Omega. Barcelona. 1010 pgs.
- MARGALEF, R.; PLANAS, D.; ARMENGOL, J.; VIDAL, A.; PRAT, N.; GUISET, A.; TOJA, J. y ESTRADA, M. 1976.- *Limnología de los embalses españoles*. Dirección General de Obras Hidráulicas. M.O.P. Madrid. 2 vols. 422 + 85 pgs.
- MARTIN, D.B. y ARNESON, R.D. 1978.- Comparative limnology of a deep-discharge reservoir and a surface-discharge lake on the Madison River, Montana. *Freshwater Biol.*, 8: 33-42.
- MOYÁ, G. y RAMÓN, G. 1981.- Contribución al conocimiento de la mineralización de las aguas de los embalses de Cúber y Gorg Blau y de sus principales aportes. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 25: 21-30.
- MOYÁ, G. y RAMÓN, G. 1983.- Características limnológicas del embalse de Cúber (Mallorca). *Actas I Congreso Español Limnología*: 83-92.
- RAI, H. y HILL, G. 1981.- Physical and chemical studies of Lago Tupé; a Central Amazonian Black Water "Ria Lake". *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 66: 37-82.
- RAMÓN, G. y MOYÁ, G. 1982.- Características morfológicas y morfométricas de los embalses de Cúber y Gorg Blau (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Balears*, 26: 145-150.
- STEWART, K.M. y HASLER, A.D. 1972.- Limnology of some Madison Lakes: Annual cycles. *Trans. Wis. Acad. Sci. Arts Lett.*, 60: 87-123.
- VIDAL, A. 1972.- Dinámica del hipolimnion anóxico en el embalse de Sau (Barcelona). *Pirineos*, 105: 129-169.
- WETZEL, R.G. 1975.- *Limnology*. Saunders. Philadelphia. 752 pgs.